ISSN:3030-332X
Impact factor: 9,493
International journal of scientific researchers

UDK:541.18:678.7:544.723

POLIMER-GIBRID NANOADSORBENTLARNI DESORBSIYALASHDA ELYUENTLAR TANLOVI, SAMARADORLIK VA EKOLOGIK XAVFSIZLIK NUQTAI NAZARIDAN QIYOSIY TAHLIL

Salihanova Dilnoza Saidakbarovna
URFA Ummumiy va noorganik kimyo instituti katta ilmiy xodim, t.f.d prof

Ubaydullayeva Navruza Ne'matjonovna
k.f.f.d PhD, dots.Namangan davlat universiteti kimyo kafedrasi dotsenti

Xojiboyeva Dilnoza Komiljonovna
Toshkent shahar Sergeli tumani 267- maktab kimyo fani o'qituvchisi,
Mustaqil izlanuvchi

Rahmatova Nargiza Islomjon qizi
Mustaqil izlanuvchi

Annotatsiya : Mazkur maqolada polimer-gibrid nanoadsorbentlarni regeneratsiya qilishda qo'llaniladigan turli elyuentlarning (mineral kislotalar — HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4; asoslar — NaOH; kompleks hosil qiluvchi moddalar — EDTA, tiokapbamid) desorbsion samaradorligi va ekologik xavfsizligi qiyosiy tahlil qilingan. Sorbsion materiallarning sanoat sharoitida amaliy qo'llanilishi ularning ko'p martalik regeneratsiya salohiyatiga bog'liq bo'lib, elyuent tanlovi ushbu jarayonning eng muhim texnologik parametri hisoblanadi. Ishda kuchli kislotali elyuentlarning yuqori desorbsion samaradorlik ta'minlashi, biroq materialning struktura barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi, kompleks hosil qiluvchi moddalarning esa yumshoqroq sharoitda selektiv desorbsiyani ta'minlashi ko'rsatilgan. Turli metall ionlari (Zn^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, Pb^{2+}, Au) uchun optimal elyuent tanlovi va ularning ko'p siklli qo'llanishdagi samaradorlik dinamikasi tahlil qilingan. Olingan natijalar elyuent tanlovida desorbsion samaradorlik bilan ekologik xavfsizlik va materialning uzoq muddatli barqarorligi o'rtasida muvozanat topish zarurligini asoslaydi.

Kalit so'zlar: desorbsiya, elyuent, regeneratsiya, nanoadsorbent, EDTA, kislotali desorbsiya, ekologik xavfsizlik.

Аннотация: В данной статье представлен сравнительный анализ различных элюентов (минеральные кислоты — HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4; основания — NaOH; комплексообразующие агенты — EDTA, тиомочевина), используемых для регенерации полимер-гибридных наноадсорбентов, с точки зрения десорбционной эффективности и экологической безопасности. Практическое применение сорбционных материалов в промышленных условиях напрямую зависит от их способности к многократной регенерации, а выбор элюента является ключевым технологическим параметром данного процесса. Показано, что сильнокислотные элюенты обеспечивают высокую десорбционную эффективность, однако оказывают негативное влияние на структурную стабильность материала, тогда как комплексообразующие агенты обеспечивают селективную десорбцию в более мягких условиях. Проанализирован выбор оптимального элюента для различных ионов металлов (Zn^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, Pb^{2+}, Au) и динамика эффективности при многоцикловом применении. Полученные результаты обосновывают необходимость нахождения баланса между десорбционной эффективностью, экологической безопасностью и долгосрочной стабильностью материала при выборе элюента.

Ключевые слова: десорбция, элюент, регенерация, наноадсорбент, EDTA, кислотная десорбция, экологическая безопасность.

Abstract: This article presents a comparative analysis of various eluents (mineral acids — HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4; bases — NaOH; chelating agents — EDTA, thiourea) used for the regeneration of polymer-hybrid nanoadsorbents, evaluated from the standpoint of desorption efficiency and environmental safety. The practical application of sorption materials under industrial conditions depends directly on their multi-cycle regeneration capacity, making eluent selection a key technological parameter in this process. It is shown that strongly acidic eluents provide high desorption efficiency but negatively affect the structural stability of the material, whereas chelating agents enable selective desorption under milder conditions. The selection of optimal eluents for various metal ions (Zn^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, Pb^{2+}, Au) and the dynamics of efficiency across multiple regeneration cycles are analyzed. The findings support the need to balance desorption efficiency, environmental safety, and the long-term stability of the material when selecting an eluent.

Keywords: desorption, eluent, regeneration, nanoadsorbent, EDTA, acid desorption, environmental safety.

KIRISH: Adsorbsion suv tozalash texnologiyalarida sorbsion materiallarning amaliy-iqtisodiy samaradorligi nafaqat ularning dastlabki yutish sig'imi, balki ko'p martalik regeneratsiya jarayonining to'g'ri tashkil etilishiga ham bog'liq. Regeneratsiya jarayonining markaziy bosqichi — desorbsiya, ya'ni sorbent yuzasida ushlab qolingan moddalarni maxsus eritma (elyuent) yordamida ajratib olish — bo'lib, elyuent tanlovi nafaqat jarayonning iqtisodiy samaradorligini, balki materialning uzoq muddatli struktura barqarorligini va, muhimi, ekologik xavfsizligini ham belgilaydi.Amaliyotda desorbsiya uchun turli tabiatga ega elyuentlar qo'llaniladi: proton almashinuvchi kislotalar (HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4), ishqoriy reagentlar (NaOH) va kompleks hosil qiluvchi moddalar (EDTA, tioкarbamid). Turli metall ionlari uchun optimal elyuent tabiati sezilarli farq qiladi: masalan, rux va kadmiy ionlarini tiol-lignotsellyuloza-bentonit nanokompozitidan desorbsiyalashda eng yuqori samaradorlik HCl bilan erishilgan bo'lsa, simob ionlari uchun boshqa reagent maksimal samaradorlik ko'rsatgan. Shunga o'xshab, oltin ionlarini polietilenimin-alginat tolasidan desorbsiyalashda tioкarbamid va HCl aralashmasining konsentratsiyasini oshirish orqali desorbsiya samaradorligini 84% dan 97% gacha oshirish mumkinligi ko'rsatilgan. Elyuent tanlovidagi asosiy ilmiy-amaliy muammo — desorbsion samaradorlik bilan material barqarorligi o'rtasidagi murakkab muvozanatdir. Fe–Mn polimer nanokompozitlarini mishyokdan tozalashda regeneratsiya samaradorligini baholashga bag'ishlangan tadqiqotda 0,1 M NaOH eng yaxshi regeneratsiya natijasini ko'rsatgani, kuchliroq desorbsion agentlar esa materialning struktura yemirilishi tufayli chiqarib tashlash samaradorligining sezilarli pasayishiga olib kelgani aniqlangan — bu esa tajovuzkor desorbsiya sharoitlarining materialning uzoq muddatli samaradorligiga putur yetkazishi mumkinligini ko'rsatadi. Shunga o'xshash tendensiya boshqa tadqiqotlarda ham qayd etilgan: suv gyatsintasi biosorbenti 0,1 M HNO_3 bilan regeneratsiya qilinganda birinchi siklda ≈95% desorbsion samaradorlikka erishilgan, biroq besh siklgacha sig'imning saqlanish darajasi ≈85% ga tushgan, bargli biomassa esa tezroq desorbsiyalanган bo'lsa-da, barqarorligi pastroq bo'lib, besh sikl davomida atigi 65–70% sig'imni saqlab qolgan. EDTA asosidagi kompleks hosil qiluvchi elyuentlar alohida ilmiy qiziqish uyg'otadi, chunki ular yuqori regeneratsiya samaradorligi, selektivlik, tez sorbsiya tezligi va yuqori mexanik mustahkamlikni birlashtirgan holda kislota yoki ishqor sifatida ham qo'llanilishi mumkin. Shu bilan birga, kuchli kislotali va oksidlovchi elyuentlar (masalan, HNO_3) o'zining yuqori proton-donor va oksidlovchi xususiyati tufayli metall-adsorbent o'zaro ta'sirini samarali buzib, yuqori ekstraksiya samaradorligini ta'minlashi ko'rsatilgan, biroq bunday agressiv reagentlarning ekologik xavfsizligi va ikkilamchi chiqindi muammosi alohida e'tiborni talab qiladi. Shunday qilib, elyuent tanlovi — bu sof texnologik masala emas, balki samaradorlik, iqtisodiy tejamkorlik, materialning struktura barqarorligi va ekologik xavfsizlik o'rtasidagi ko'p omilli optimallashtirish vazifasidir. Ushbu muammoni ilmiy asoslangan tarzda hal etish polimer-gibrid nanoadsorbentlarning sanoat miqyosida barqaror va ekologik jihatdan mas'uliyatli qo'llanilishini ta'minlashning zaruriy sharti hisoblanadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI: Polimer-gibrid nanoadsorbentlarni desorbsiyalashda elyuent tanlovi muammosi so'nggi yillarda bir qator eksperimental tadqiqotlarda chuqur o'rganilgan. Ushbu bo'limda mavzuga oid asosiy ilmiy natijalar tematik yo'nalishlar bo'yicha tahlil qilingan. Tiol -lignotsellyuloza-

natriy bentonit (TLSB) nanokompozitida rux subguruhi ionlarini (Zn^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}) desorbsiyalash bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotda olti xil elyuent — proton almashinuvchi kislotalar (HCl, HNO_3, H_3PO_4, H_2SO_4) va kompleks hosil qiluvchi moddalar (NaOH, EDTA) — 0,1 mol/L konsentratsiyada qiyoslangan, bunda Zn(II) va Cd(II) ionlarining metall yuklangan TLSB'dan eng yuqori desorbsiyasi HCl bilan erishilgan, simob (Hg) ionlari uchun esa boshqa elyuent maksimal desorbsiya ko'rsatgan. Bu natija shuni ko'rsatadiki, bitta universal elyuent barcha metall ionlari uchun bir xil darajada samarali emas — optimal reagent tanlovi maqsadli ionning kimyoviy tabiatiga qarab individual belgilanishi lozim. Xuddi shunday, og'ir metall (Chlorella/ZnO/$ZnFe_2O_4$ nanokompozitida) preconsentratsiyasida oltita elyuent (HNO_3, HCl, H_3PO_4, CH_3COOH, EDTA, $HClO_4$) sinovdan o'tkazilganda, HNO_3 tekshirilgan barcha metall ionlari orasida eng yuqori ekstraksiya samaradorligini ko'rsatgan, bu uning kuchli proton-donor qobiliyati va oksidlovchi tabiati bilan izohlangan, ular metall-adsorbent o'zaro ta'sirini samarali buzib, to'liq desorbsiyani ta'minlaydi. Bu natija kuchli kislotalarning yuqori desorbsion samaradorligini tasdiqlaydi, biroq ularning agressiv kimyoviy tabiati materialning struktura barqarorligiga salbiy ta'sir qilish xavfini ham keltirib chiqaradi. Fe–Mn polimer nanokompozitlari (PS-FMBO) yordamida mishyokni suvdan chiqarib tashlash bo'yicha o'tkazilgan regeneratsiya tadqiqotida turli elyuentlar — NaOH, NaOH–NaCl va NaOH–NaOCl aralashmalari — qiyoslangan, bunda 0,1 M NaOH eng yaxshi regeneratsiya samaradorligini ko'rsatgan va ko'p siklli qo'llanishda yuqori adsorbsion faollikni saqlab qolgan, kuchliroq desorbsion agentlar esa nanokompozitning mumkin bo'lgan struktura yemirilishi tufayli chiqarib tashlash samaradorligining sezilarli pasayishiga olib kelgan, bu esa tajovuzkor desorbsiya sharoitlari materialning uzoq muddatli samaradorligiga putur yetkazishi mumkinligini ko'rsatadi. Ushbu natija maqolaning markaziy tezisini — eng kuchli elyuent har doim ham eng oqilona tanlov emasligini — bevosita tasdiqlaydi. EDTA asosidagi adsorbentlarning regeneratsiya xususiyatlarini umumlashtirgan sharh maqolada EDTA-asosli adsorbentlar odatda yaxshi regeneratsiya samaradorligiga ega bo'lib, ular uchun elyuent sifatida kislota, ishqor yoki EDTA ning o'zi qo'llanilishi mumkinligi, bunday materiallarning yuqori adsorbsion selektivligi, katta sig'imi, tez sorbsiya tezligi, yuqori mexanik mustahkamligi, yaxshi takrorlanuvchanligi, past narxi va kuchli kimyoviy barqarorligi ta'kidlangan. Bu xususiyatlar EDTA-asosli tizimlarni sanoat sharoitida ko'p martalik qo'llash uchun istiqbolli qiladi. Oltin ionlarini polietilenimin/Ca^{2+}-alginat tolasidan desorbsiyalashda to'rt xil elyuent (EDTA, HNO_3, H_2SO_4, tioкarbamid/HCl aralashmasi) qiyoslangan tadqiqotda boshlang'ich sharoitlarda desorbsiya samaradorligi past bo'lgan, biroq 0,05 M tioкarbamid va 0,1 M HCl qo'llanilganda oltinning 84% desorbsiyalangan, konsentratsiyani 0,5 M tioкarbamid/1 M HCl gacha oshirganda esa desorbsiya samaradorligi taxminan 97% ga yetgan. Bu misol elyuent konsentratsiyasining ham desorbsiya samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini, ammo bunday yuqori konsentratsiyali agressiv aralashmalarning ekologik va iqtisodiy jihatdan qo'shimcha tahlilni talab qilishini ko'rsatadi.

ASOSIY QISM: Desorbsiya jarayonining kimyoviy mexanizmlari. Elyuent — bu adsorbent yuzasida ushlab qolingan (sorbsiyalangan) moddani eritmaga qaytarib o'tkazuvchi maxsus reagent bo'lib, uning ta'sir mexanizmi adsorbsion bog'lanish tabiatiga qarab farqlanadi: a) Proton almashinuvi (ion almashinuvi) mexanizmi. Kislotali elyuentlar (HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4) muhitdagi vodorod ionlari (H^+) konsentratsiyasini keskin oshirib, bu ionlar adsorbent yuzasidagi funksional guruhlar ($–COO^–$, $–NH_2$, $–S^–$) bilan bog'langan metall kationlarini siqib chiqaradi. Samarali elyuent metall-adsorbent o'zaro ta'sirini buzib, ionlarning eritma fazasiga to'liq o'tishini ta'minlashi lozim. b) Kompleks hosil qilish (chelatlash) mexanizmi. EDTA kabi kompleks hosil qiluvchi moddalar metall ionlari bilan barqaror, suvda eruvchan xelat kompleksini hosil qilib, ularni adsorbent yuzasidan "tortib oladi". Bu mexanizm proton almashinuviga nisbatan ancha selektiv bo'lib, ma'lum metall guruhlariga nisbatan yuqori afinlikni ta'minlaydi. c) Ishqoriy gidroliz va cho'ktirish mexanizmi. NaOH kabi ishqoriy elyuentlar yuqori pH sharoitida metall gidroksidlarining hosil bo'lishi yoki adsorbent yuzasidagi funksional guruhlarning deprotonlanishi orqali desorbsiyani ta'minlaydi. d) Oksidlanish-qaytarilish mexanizmi. HNO_3 kabi oksidlovchi kislotalar nafaqat proton-donor, balki oksidlovchi vosita sifatida ham ta'sir qilib, metall-adsorbent o'zaro ta'sirini kimyoviy jihatdan buzadi, bu esa yuqori ekstraksiya samaradorligini ta'minlaydi. Yuqori selektivlik, yaxshi regeneratsiya. Ushbu ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, kuchli kislotali va oksidlovchi elyuentlar odatda eng yuqori bir martalik desorbsion samaradorlikni ta'minlaydi, biroq bu samaradorlik ko'pincha materialning struktura barqarorligi hisobiga erishiladi. Elyuent tabiatining

material barqarorligiga ta'siri. Elyuentning kimyoviy agressivligi bilan adsorbent materialining ko'p siklli barqarorligi o'rtasida teskari proporsional bog'liqlik kuzatiladi. Fe–Mn polimer nanokompozitlari misolida bu qonuniyat aniq namoyon bo'lgan: kuchliroq desorbsion agentlar qo'llanilganda materialning struktura yemirilishi tufayli keyingi sikllardagi chiqarib tashlash samaradorligi sezilarli pasaygan, bunda eng yumshoq (0,1 M NaOH) reagent aynan eng barqaror natijani bergan.Bu hodisaning fizik-kimyoviy asosi quyidagicha izohlanadi: kuchli kislotali yoki oksidlovchi muhitda polimer matritsaning kimyoviy bog'lari gidrolizga uchrashi, funksional guruhlarning qisman denaturatsiyalanishi yoki noorganik komponentning (masalan, metall oksidi qatlamining) qisman erishi mumkin. Natijada material har bir keyingi siklda o'zining faol sorbsion markazlarining bir qismini yo'qotadi. . Konsentratsiyaning roli: samaradorlik-barqarorlik muvozanati. Elyuent konsentratsiyasi desorbsiya samaradorligiga chiziqli bog'liq bo'lmagan tarzda ta'sir ko'rsatadi. Oltin ionlarini desorbsiyalash misolida past konsentratsiyali tioкarbamid/HCl aralashmasi (0,05 M/0,1 M) atigi 84% samaradorlik bergan bo'lsa, konsentratsiyani o'n barobar oshirish (0,5 M/1 M) samaradorlikni 97% gacha ko'targan. Biroq bunday yuqori konsentratsiyali agressiv aralashmalarni qo'llash amaliy jihatdan ikki muhim muammoni keltirib chiqaradi: (1) reagent sarfi va shunga mos iqtisodiy xarajatning oshishi; (2) hosil bo'ladigan ikkilamchi kimyoviy chiqindi hajmining ko'payishi, bu esa ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan qo'shimcha tozalash bosqichlarini talab qiladi. Shu bilan bir qatorda, ba'zi tizimlarda nisbatan past konsentratsiyali elyuentlar (0,005–0,01 M NaOH/HNO_3) ham qoniqarli natija berishi mumkinligi ko'rsatilgan — bu shuni anglatadiki, optimal konsentratsiyani har bir aniq adsorbent-adsorbat juftligi uchun alohida eksperimental tarzda aniqlash zarur, universal "yuqori konsentratsiya = yuqori samaradorlik" qoidasi har doim ham to'g'ri emas. Laboratoriya sharoitida sof (bir komponentli) eritmalarda olingan yuqori regeneratsiya ko'rsatkichlari real sanoat oqava suvlarida to'liq takrorlanmasligi mumkin. Bir vaqtning o'zida og'ir metallar va antibiotiklarni yutuvchi gibrid kompozit misolida besh martalik adsorbsiya-desorbsiya sikli o'tkazilganda, sig'imning har bir siklda 9,65–11,26% oralig'ida kamayishi kuzatilgan, buning sababi sifatida oqava suvdagi organik ifloslantiruvchilar va birgalikda mavjud ionlarning sorbsion markazlar uchun raqobatlashishi ko'rsatilgan. Bu natija elyuent samaradorligini faqat sof modellashtirilgan eritmalarda emas, balki real yoki simulyatsiya qilingan sanoat oqava suvi tarkibida ham sinash zarurligini ko'rsatadi. Elyuent tanlovida ekologik xavfsizlik mezoni quyidagi jihatlarni o'z ichiga oladi: Ikkilamchi chiqindi hajmi va tarkibi — kuchli kislotali yoki og'ir metall-EDTA komplekslarini saqlovchi desorbsiya eritmalari qo'shimcha neytrallash yoki tozalashni talab qiladi; Reagentning o'zining toksikligi — masalan, tioкarbamid va ba'zi kompleks hosil qiluvchi moddalarning o'zi suv organizmlariga nisbatan zaharli bo'lishi mumkin; Metallni qayta qazib olish (metal recovery) imkoniyati — ba'zi elyuent tizimlari (masalan, EDTA yoki tioкarbamid asosidagilar) desorbsiyalangan eritmadan qimmatbaho yoki og'ir metallarni qayta ajratib olish va resurs sifatida qaytarish imkonini beradi, bu esa "aylanma iqtisodiyot" tamoyiliga mos keladi; Reagentni qayta ishlatish imkoniyati — ba'zi elyuentlar (masalan, EDTA) desorbsiyadan so'ng qisman tozalanib, qayta qo'llanilishi mumkin, bu umumiy kimyoviy sarfni kamaytiradi.

XULOSA: O'tkazilgan tadqiqot va adabiyotlar tahlili natijasida polimer-gibrid nanoadsorbentlarni desorbsiyalashda elyuent tanlovining samaradorlik va ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan ahamiyati bo'yicha quyidagi asosiy xulosalarga kelindi: Elyuent tanlovi universal yechimga ega emasligi aniqlandi — turli metall ionlari (Zn^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}) uchun optimal desorbsion reagent har xil bo'lib, maqsadli ionning kimyoviy tabiati (ionli radius, kompleks hosil qilish qobiliyati, oksidlanish darajasi) elyuent tanlovida hal qiluvchi omil hisoblanadi. Kuchli mineral kislotalar (HNO_3, HCl) va oksidlovchi reagentlar yuqori bir martalik desorbsion samaradorlikni ta'minlasa-da, ularning agressiv kimyoviy tabiati polimer-gibrid materialning struktura barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatib, ko'p siklli qo'llanishda sorbsion sig'imning sezilarli pasayishiga olib kelishi ko'rsatildi — bu "eng kuchli elyuent" va "eng maqbul elyuent" tushunchalari bir xil emasligini isbotlaydi. Nisbatan yumshoq sharoitda ishlaydigan reagentlar (past konsentratsiyali NaOH, EDTA) samaradorlik va material barqarorligi o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlashi aniqlandi — ular bir martalik desorbsiya samaradorligi jihatidan kuchli kislotalardan biroz pastroq bo'lsa-da, ko'p siklli qo'llanishda yuqori struktura mustahkamligini va barqaror sorbsion faollikni saqlab qolish imkonini beradi. EDTA asosidagi kompleks hosil qiluvchi

tizimlar yuqori selektivlik, tez desorbsiya tezligi, mexanik mustahkamlik va kimyoviy barqarorlikni birlashtirgan holda, kislota yoki ishqor bilan birgalikda ham qo'llanilishi mumkinligi tufayli, sanoat miqyosidagi regeneratsiya jarayonlari uchun istiqbolli yo'nalish sifatida baholandi. Real sanoat oqava suvi sharoitida raqobatdosh ionlar va organik ifloslantiruvchilarning mavjudligi regeneratsiya samaradorligini laboratoriya sharoitidagi sof eritmalarga nisbatan pasaytirishi mumkinligi aniqlandi — bu omil elyuent tanlovi va texnologik parametrlarni ishlab chiqishda albatta hisobga olinishi lozim. Elyuentlarning ekologik xavfsizligi — ikkilamchi kimyoviy chiqindilar hosil bo'lishi, ularni utilizatsiya qilish yoki qayta ishlash imkoniyati — hozirgi adabiyotlarda desorbsion samaradorlikka nisbatan ancha kam tizimli o'rganilgan bo'lib, bu jihat kelgusi tadqiqotlar uchun dolzarb va ochiq yo'nalish bo'lib qolmoqda. Xulosa qilib aytganda, polimer-gibrid nanoadsorbentlarni regeneratsiya qilishda elyuent tanlovi — sof texnologik masala emas, balki desorbsion samaradorlik, iqtisodiy tejamkorlik, materialning uzoq muddatli struktura barqarorligi va ekologik xavfsizlik o'rtasidagi ko'p omilli muvozanatni talab qiluvchi kompleks ilmiy-amaliy vazifadir. Kuchli va agressiv reagentlardan ko'ra, o'rtacha kuchga ega, selektiv va ekologik jihatdan nisbatan xavfsiz elyuentlarni (masalan, past konsentratsiyali EDTA yoki NaOH tizimlarini) tanlash — sanoat miqyosida barqaror va uzoq muddatli samarali regeneratsiya tizimlarini yaratishning eng oqilona strategiyasi hisoblanadi. Kelgusi tadqiqotlarni elyuentlarning to'liq hayotiy sikl (life-cycle) tahlili, ularni qayta ishlash yoki neytrallash texnologiyalari, shuningdek real ko'p komponentli oqava suv sharoitida elyuent samaradorligini optimallashtirishga qaratish maqsadga muvofiqdir.

ADABIYOTLAR RO‘YHATI:

1. Experimental insights into the stability of graphene oxide nanosheet and polymer hybrid coupled by ANOVA statistical analysis // Scientific Reports (Nature). — 2024.
2. Coupled hybrid nanoparticles for improved dispersion stability of nanosuspensions: a review // Journal of Nanoparticle Research (Springer Nature). — 2020.
3. Пестов А.В., Ятлук Ю.Г. Хитозан и его производные как сорбенты ионов тяжелых металлов // Журнал прикладной химии. — 2010.
4. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. — СПб.: Химия, 2010.
5. Юлдашев А.А., Мухамедов Н.Р. Адсорбция воды гибридными нанокомпозициями хитозан-кремнезем // Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, физик кимё кафедраси.
6. Яркулов А.Ю. ва бошқ. Адсорбционные и термодинамические свойства механических смесей и нанокомпозиций хитозан-кремнезем // Universum: химия и биология. — 2020. — № 3 (69).
7. Юлдашев А.А., Мухамедов Н.Р. ва бошқ. Адсорбция воды гибридными нанокомпозициями хитозан-кремнезем // Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, физик кимё кафедраси. — Тошкент.
8. Яркулов А.Ю. ва бошқ. Адсорбционные и термодинамические свойства механических смесей и нанокомпозиций хитозан-кремнезем // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. — 2020. — № 3 (69). — URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/8907
9. Kaczorowska M.A., Bożejewicz D. The Application of Chitosan-Based Adsorbents for the Removal of Hazardous Pollutants from Aqueous Solutions — A Review // Materials. — 2023.
10. Mahmoud M.E., Nabil G.M., et al. Heavy metals removal by EDTA-functionalized chitosan graphene oxide nanocomposites // RSC Advances. — 2017. — Vol. 7. — P. 9764–9779.